

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016172

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ F16C32/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ F16C32/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-39178 A (Ebara Corp.), 06 February, 2002 (06.02.02), Fig. 1 & EP 1176325 A2 & US 2002/11754 A1	1,2 3,4
X Y	JP 7-12125 A (Shimadzu Corp.), 17 January, 1995 (17.01.95), Fig. 1 (Family: none)	1,2 3,4
X Y	JP 9-84214 A (Yaskawa Electric Corp.), 28 March, 1997 (28.03.97), Fig. 1 (Family: none)	1,2 3,4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
21 January, 2005 (21.01.05)Date of mailing of the international search report
15 March, 2005 (15.03.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016172

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 6-229419 A (Seiko Seiki Kabushiki Kaisha), 16 August, 1994 (16.08.94), Fig. 4 & EP 632209 A1 & US 5666013 A & DE 69414919 C	1 2-4
X A	JP 10-70865 A (Ebara Corp.), 10 March, 1998 (10.03.98), Fig. 3 (Family: none)	1 2-4
X A	JP 8-145056 A (Ebara Corp.), 04 June, 1996 (04.06.96), Fig. 1 (Family: none)	1 2-4
Y	JP 11-22730 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 26 January, 1999 (26.01.99), Claims 1 to 3 (Family: none)	3, 4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ F16C32/04

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ F16C32/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2005年

日本国実用新案登録公報 1996-2005年

日本国登録実用新案公報 1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 2002-39178 A (株式会社荏原製作所), 2002.02.06, 【図1】 & E P 1176325 A2 &	1, 2
Y	US 2002/11754 A1	3, 4
X	J P 7-12125 A (株式会社島津製作所), 1995.01.17, 【図1】 (ファミリーなし)	1, 2
Y		3, 4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21.01.2005

国際調査報告の発送日

15.3.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

磯部 賢

3 J

9332

電話番号 03-3581-1101 内線 3328

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 9-84214 A (株式会社安川電機), 1997. 03. 28, 【図1】 (ファミリーなし)	1, 2
Y		3, 4
X	J P 6-229419 A (セイコー精機株式会社), 1994. 08. 16, 【図4】 & E P 632209 A1 &	1
A	US 5666013 A & DE 69414919 C	2-4
X	J P 10-70865 A (株式会社荏原製作所), 1998. 03. 10, 【図3】 (ファミリーなし)	1
A		2-4
X	J P 8-145056 A (株式会社安川電機), 1996. 06. 04, 【図1】 (ファミリーなし)	1
A		2-4
Y	J P 11-22730 A (光洋精工株式会社), 1999. 01. 26, 【請求項1】 ~ 【請求項3】 (ファミリーなし)	3, 4

明細書

電力増幅装置および磁気軸受

5

技術分野

この発明は、電力増幅装置およびそれを用いた磁気軸受に関する。

背景技術

10 複数組の制御型磁気軸受により回転体を磁気浮上させて非接触支持する制御型磁気軸受装置は、フライホイール式電力貯蔵装置などに使用されている。

この種の磁気軸受装置は、たとえば、鉛直状の回転体を1組のアキシアル磁気軸受ユニットと2組のラジアル磁気軸受ユニットで非
15 接触支持するものである。アキシアル磁気軸受ユニットは、回転体の軸方向の1箇所を鉛直なアキシアル制御軸（軸方向の制御軸）方向の目標位置に非接触支持するものであり、1組のアキシアル磁気軸受を備えている。ラジアル磁気軸受ユニットは、回転体の軸方向の2箇所において、それぞれ、アキシアル制御軸と直交するととも
20 に互いに直交する2つのラジアル制御軸（径方向の制御軸）方向の目標位置に回転体を非接触支持するものであり、各ラジアル磁気軸受ユニットは、それぞれ、2つのラジアル制御軸に対応する2組のラジアル磁気軸受を備えている。

アキシアル磁気軸受および各ラジアル磁気軸受は、それぞれ、対
25 応する制御軸方向の両側から回転体の被支持部分を挟むように配置された1対の電磁石と、回転体の該制御軸方向の変位を検出する変位検出装置と、回転体の変位検出値に基づいて各電磁石に供給する

励磁電流を制御する電磁石制御装置とを備えている。各磁気軸受において、電磁石制御装置は、通常、変位検出値に基づいて各電磁石に供給すべき励磁電流目標値を決定しこれを励磁電流指令信号として出力する電流制御装置と、この励磁電流指令信号を増幅して各電
5 磁石に励磁電流を供給する電力増幅器とを備えている。

従来は、磁気軸受の各電磁石に供給される励磁電流は、バイアス電流（定常電流）と制御電流を合わせたものであった。1対の電磁石のバイアス電流は互いに等しく、かつ回転体の変位にかかわらず一定である。制御電流は回転体の変位に応じて変化し、1対の電磁
10 石について、常に、制御電流の絶対値は互いに等しく、符号は反対である。また、制御電流の絶対値の最大値は、バイアス電流より小さい。このため、回転体の変位にかかわらず、1対の電磁石には常に励磁電流が流れている。

上記のように各磁気軸受の1対の電磁石に常にバイアス電流を供給することにより、制御電流と1対の電磁石による磁気吸引力との
15 関係を線形化できるという利点があるが、電磁石による消費電力が大きく、磁気軸受およびそれを用いた装置の消費電力が大きいという問題がある。

そこで、特開平11-22730号公報に示されているように、
20 1対の電磁石の両方のバイアス電流をともに0とするか、あるいは一方にのみバイアス電流を供給するようにしたいいわゆるゼロバイアス電流制御の磁気軸受が提案されている。この磁気軸受では、制御軸が水平な場合は、両方の電磁石のバイアス電流をともに0とし、制御軸が水平でない場合は、上側に配置される電磁石にのみバイア
25 ス電流を供給するようになっている。

ところで、上記のような磁気軸受の電磁石制御装置に使用される電力増幅器では、図4に示すように、入力電圧（励磁電流目標値）

の広い範囲で見れば、入力電圧と出力電流（励磁電流）との関係は線形であるが、入力電圧が微小な範囲では、両者の関係が線形ではなく、この範囲では、ゲインが小さくなる。このため、回転体が目標位置の近傍にあって励磁電流目標値が微小であるときに、実際に
5 電磁石に流れる励磁電流が励磁電流目標値より小さくなり、回転体の位置制御が不安定になるという問題がある。

たとえば特開 2 0 0 2 - 3 9 1 7 6 号公報に示されているように、線形化回路を用いれば、入力電圧と出力電流との関係を線形化することができるが、そうすると、電力増幅装置の構成が複雑になり
10 、コストも高くなる。

この発明の目的は、入力電圧の微小な範囲においても入力電圧と出力電流との関係を線形化できる電力増幅装置を提供することにある。

この発明の目的は、また、電力増幅装置の入力電圧と出力電流との関係を線形化して、ゼロバイアス電流制御の場合で、回転体が目標位置の近傍にあるときでも、位置制御が安定している磁気軸受を
15 提供することにある。

発明の開示

20 この発明による電力増幅装置は、被駆動体に供給すべき電流目標値に基づいて電流指令信号を出力する電流指令手段と、電流指令信号を増幅して被駆動体に電流を供給する電力増幅器と、被駆動体に流れる電流を検出する電流検出手段とを備えており、電流指令手段が、電流検出手段による電流検出値をフィードバックして、電流検
25 出値が電流目標値と等しくなるように電流指令信号を制御するものであることを特徴とするものである。

被駆動体としては、たとえば、磁気軸受を構成する電磁石、各種

駆動用の電動機などがある。

電流目標値は電圧値で与えられ、これが電力増幅装置の入力電圧となる。電流指令手段からの電流指令信号も電圧値で与えられ、これが電力増幅器の入力電圧となる。

5 電流指令手段が電流検出値をフィードバックして電流指令信号を制御するものであるから、電力増幅器の入力電圧（電流指令信号）と出力電流との関係が線形でない入力電圧の微小な範囲すなわち電流目標値の微小な範囲においても、入力電圧である電流目標値と出力電流との関係を線形化することができる。

10 したがって、電力増幅装置を磁気軸受の電磁石の駆動に用いる場合、バイアス電流が0であるかあるいは非常に小さい制御を行なっても、電磁石に流れる励磁電流を励磁電流目標値と等しくして、安定した位置制御を行なうことができる。また、電動機を微小な電圧で駆動する場合も、同様に、安定した制御を行なうことができる。

15 このように、この発明の電力増幅装置によれば、入力電圧の微小な範囲においても入力電圧と出力電流との関係を線形化することができ、したがって、磁気軸受の電磁石のバイアス電流を0または微小な値とした場合、あるいは各種駆動用の電動機を微小な電圧で駆動する場合などでも、安定した制御を行なうことができる。

20 この発明による磁気軸受は、回転体を1つの制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受であって、回転体を磁気吸引力によって前記制御軸方向の目標位置に非接触支持するために前記制御軸方向の両側から回転体を挟むように配置された1対の電磁石と、回転体の目標位置からの変位を検出する変位検出手段と、回転体の変位検出
25 値に基づいて各電磁石に供給すべき励磁電流目標値を決定する励磁電流目標値決定手段と、励磁電流目標値を増幅して各電磁石に励磁電流を供給する2つの電力増幅装置とを備えており、各電力増幅装

置が、励磁電流目標値に基づいて励磁電流指令信号を出力する電流指令手段と、励磁電流指令信号を増幅して電磁石に励磁電流を供給する電力増幅器と、電磁石に流れる励磁電流を検出する電流検出手段とを備えており、電流指令手段が、電流検出手段による励磁電流
5 検出値をフィードバックして、励磁電流検出値が励磁電流目標値と等しくなるように励磁電流指令信号を制御するものであることを特徴とするものである。

上記同様、電力増幅器の入力電圧（励磁電流指令信号）と出力電流である励磁電流との関係が線形でない入力電圧の微小な範囲すな
10 わち励磁電流目標値の微小な範囲においても、入力電圧である励磁電流目標値と出力電流である励磁電流との関係を線形化することができる。

このように、この発明の磁気軸受によれば、電流増幅装置の入力電圧と出力電流との関係を線形化して、電磁石のバイアス電流制御
15 を0または微小な値とした場合で、回転体が目標位置の近傍にあるときでも、安定した位置制御を行なうことができる。

この発明の磁気軸受において、たとえば、前記制御軸が水平であり、励磁電流目標値決定手段が、各電磁石について、回転体の変位検出値によって変化する制御電流のみを励磁電流として励磁電流目
20 標値を決定するものである

すなわち、制御軸が水平である場合、たとえば、両方の電磁石について、バイアス電流を0とし、回転体の変位によって変化する制御電流のみを励磁電流として供給する。この場合、少なくとも一方の電磁石（回転体が目標位置より変位した側の電磁石）の制御電流
25 すなわち励磁電流は0である。

また、この発明の磁気軸受において、たとえば、前記制御軸が水平ではなく、励磁電流目標値決定手段が、下側の電磁石については

、回転体の変位検出値によって変化する制御電流のみを励磁電流として励磁電流目標値を決定し、上側の電磁石については、所定のバイアス電流と回転体の変位検出値によって変化する制御電流とを合わせたものを励磁電流として励磁電流目標値を決定するものである
5 。

すなわち、制御軸が水平でない場合、たとえば、上側の電磁石にのみバイアス電流を供給し、下側の電磁石のバイアス電流は0とする。そして、上側の電磁石にはバイアス電流と制御電流を合わせた励磁電流を供給し、下側の電磁石には制御電流のみを励磁電流として供給する。この場合も、少なくとも一方の電磁石（回転体が目標位置より変位した側の電磁石）の制御電流は0である。
10

このように、両方の電磁石または片方の電磁石のバイアス電流を0にすることにより、消費電力を低減することができる。

上記のように、励磁電流目標値の微小な範囲においても、励磁電流目標値と励磁電流との関係を線形化できるので、電磁石のバイアス電流を0にした場合であって、回転体が目標位置の近傍にあるときでも、電磁石に流れる励磁電流を励磁電流目標値と等しくして、安定した位置制御を行なうことができる。
15

20 図面の簡単な説明

図1は、この発明の1実施形態を示すラジアル磁気軸受の構成図である。図2は、図1のラジアル磁気軸受における電磁石の励磁電流と磁気吸引力との関係を示すグラフである。図3は、図1のラジアル磁気軸受の電力増幅装置における励磁電流目標値と励磁電流およびゲインとの関係を示すグラフである。図4は、電力増幅器における入力電圧と出力電流およびゲインとの関係を示すグラフである。
25

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して、この発明を前記のようなフライホイール式電力貯蔵装置に使用される磁気軸受に適用した実施形態について

5 説明する。

全体の図示は省略したが、電力貯蔵装置は、前記のように、鉛直状の回転体(1)を1組のアキシアル磁気軸受ユニットと上下2組のラジアル磁気軸受ユニットで非接触支持するものであり、図1には、ラジアル磁気軸受ユニットを構成する2組のラジアル磁気軸受の
10 うちの一方のラジアル磁気軸受(2)が示されている。

図1に示すラジアル磁気軸受(2)は、回転体(1)を2つのラジアル制御軸のうちの一方の制御軸(これを「X軸」とする)方向に非接触支持するものであり、これは、回転体(1)を磁気吸引力によってX軸方向の所定の目標位置に非接触支持するためにX軸方向の両側から回転体(1)の外周のターゲット(被支持部分)(3)を挟むように配置された1対の電磁石(4)(5)と、回転体(1)の目標位置からのX軸方向の変位を検出する変位検出手段を構成する変位検出装置(6)と、回転体(1)を目標位置に非接触支持するために回転体(1)のX軸方向の変位に基づいて各電磁石(4)(5)の励磁電流を制御する電磁石制御手段を構成する電磁石制御装置(7)とを備えている。1対の電磁石(4)(5)のうち、X軸正側のものを第1電磁石(4)、X軸負側のものを第2電磁石(5)ということにする。
15 20

各電磁石(4)(5)は、回転体(1)の軸方向にのびる連結部(8a)の両端部にX軸方向の内側に突出した1対の磁極部(8b)(8c)が一体に形成されたコ字状のコア(8)と、コア(8)の両磁極部(8b)(8c)に巻かれた
25 コイル(9)とを備えている。各電磁石(4)(5)の連結部(8a)が円筒状のハウジング(10)の内周部に固定され、磁極部(8b)(8c)が回転体(1)

のターゲット(3)にX軸方向の外側からわずかな空隙をあけて対向している。各電磁石(4)(5)のコイル(9)は、電磁石制御装置(7)に接続されている。そして、制御装置(7)からコイル(9)に供給される励磁電流により、1対の電磁石(4)(5)の上側の磁極部(8b)が同一の極性に励磁され、下側の磁極部(8c)が上記と逆の同一の極性に励磁される。この例では、上側の磁極部(8b)がN極、下側の磁極部(8c)がS極となる。

変位検出装置(6)は、回転体(1)をX軸方向の両側から挟むように各電磁石(4)(5)のすぐ下のハウジング(10)の内周部に固定されて回転体(1)との間のX軸方向の空隙の大きさを検出する1対の変位センサ(11)(12)と、第1センサ(11)の出力から第2センサ(12)の出力を減算することにより回転体(1)のX軸方向の目標位置からの変位を求める減算器(13)とを備えている。減算器(13)の出力すなわち変位検出値は、制御装置(7)に入力する。

制御装置(7)は、両方の電磁石(4)(5)のバイアス電流を0とし、回転体(1)のX軸方向の変位が生じたときに、いずれか一方の電磁石(4)(5)に制御電流のみからなる励磁電流を供給する。したがって、回転体(1)の変位が0のときは、各電磁石(4)(5)の制御電流は0であり、各電磁石(4)(5)の励磁電流も0である。この場合、制御軸であるX軸は水平であるから、回転体(1)に作用する重力のX軸方向の成分は0であり、回転体(1)が目標位置にあるとき、両方の電磁石(4)(5)の励磁電流が0で、これらの磁気吸引力が0であっても、回転体(1)に作用するX軸方向の力は0で、釣合が保たれる。そして、回転体(1)が目標位置からX軸負側に変位したときは、X軸正側の第1電磁石(4)にのみ変位量に応じた正の値の制御電流(=励磁電流)が供給され、この電磁石(4)の磁気吸引力により回転体(1)はX軸正方向に吸引される。回転体(1)がX軸正方向に変位したときは、X軸

負側の第2電磁石(5)にのみ変位量に応じた正の値の制御電流(=励磁電流)が供給され、この電磁石(5)の磁気吸引力により回転体(1)はX軸負側に吸引される。このように1対の電磁石(4)(5)の制御電流が制御されることにより、回転体(1)がX軸方向の目標位置に保持
5 される。

制御装置(7)は、励磁電流目標値決定手段としての励磁電流目標値決定装置(14)、および各電磁石(4)(5)に対応する2つの電力増幅装置(15)(16)を備えている。目標値決定装置(14)は、後に詳しく説明するように、回転体(1)の変位検出値に基づいて、各電磁石(4)(5)
10 に供給すべき励磁電流の目標値を決定するものである。電力増幅装置(15)(16)は、目標値決定装置(14)からの励磁電流目標値を増幅して電磁石(4)(5)に供給するものである。

各電力増幅装置(15)(16)は、電流指令手段としての電流指令装置(17)、電力増幅器(18)および電流検出手段としての電流検出装置(19)を備えている。各電流検出装置(19)は、各電磁石(4)(5)のコイル(9)に接続されて、それに流れる励磁電流を検出する。電流指令装置(17)は、目標値決定装置(14)からの励磁電流目標値と検出装置(19)による励磁電流検出値に基づいて励磁電流指令信号を出力する。
すなわち、励磁電流検出値をフィードバックし、この検出値が励
20 磁電流目標値と等しくなるように励磁電流指令信号を制御する。各電力増幅器(18)は、電流指令装置(17)からの励磁電流指令信号を増幅して各電磁石(4)(5)のコイル(9)に励磁電流を供給する。電力増幅器(18)としては、従来と同様のもの、たとえば、入力電圧の微小な範囲において入力電圧と出力電流との関係が線形でない図4のような特性を有するものを使用することができる。
25

上記の電力増幅装置(15)(16)では、電流指令装置(17)が励磁電流検出値をフィードバックして励磁電流指令信号を制御するので、電

力増幅器(18)の入力電圧と出力電流との関係が入力電圧の全範囲あるいは一部の範囲たとえば入力電圧の微小な範囲で線形でなくても、図3に示すように、入力電圧の全範囲において、電力増幅装置(15)(16)の入力電圧である励磁電流目標値と出力電流である励磁電流との関係が線形化され、ゲインもほぼ一定となる。このため、上記のように各電磁石(4)(5)のバイアス電流を0にした場合、回転体(1)が目標位置の近傍にあって、いずれかの電磁石(4)(5)に供給すべき励磁電流目標値が微小であるときでも、電磁石(4)(5)に流れる励磁電流を励磁電流目標値と等しくして、安定した位置制御を行なうことができる。

次に、図2を参照して、目標値決定装置(14)における励磁電流目標値の決定について詳細に説明する。

図2は、1対の電磁石(4)(5)の励磁電流と磁気吸引力との関係を表わすグラフである。図2において、横軸の原点(0)より右側の部分は第1電磁石(4)の励磁電流 I_1 を示し、右側が正、左側が負である。横軸の原点(0)より左側の部分は第2電磁石(5)の励磁電流 I_2 を示し、左側が正、右側が負である。縦軸は電磁石(4)(5)による磁気吸引力 F を示し、上側が正、下側が負である。 F_1 は第1電磁石(4)の磁気吸引力、 F_2 は第2電磁石(5)の磁気吸引力を表わしている。励磁電流 I_1 、 I_2 は0または正の値であり、一方が正の値のとき、他方は0である。両方の電磁石(4)(5)のバイアス電流が0であるから、制御電流が0のとき、電磁石(4)(5)の励磁電流 I_1 、 I_2 は0で、磁気吸引力 F_1 、 F_2 は0である。第1電磁石(4)の磁気吸引力 F_1 は正の値で、励磁電流 I_1 の増加に伴って二次関数的に増加する。第1電磁石(4)の励磁電流 I_1 が正の値であるとき、第2電磁石(5)の励磁電流 I_2 は0で、その磁気吸引力 F_2 は0であるから、第1電磁石(4)の磁気吸引力 F_1 がそのまま全体の磁気吸引力となる。第2

電磁石 (5) の磁気吸引力 F_2 は負の値で、その絶対値は励磁電流 I_2 の増加に伴って二次関数的に増加する。第 2 電磁石 (5) の励磁電流 I_2 が正の値であるとき、第 1 電磁石 (4) の励磁電流 I_1 は 0 で、その磁気吸引力 F_1 は 0 であるから、第 2 電磁石 (5) の磁気吸引力 F_2 がそのまま全体の磁気吸引力となる。目標値決定装置 (14) には、第 1 電磁石 (4) の励磁電流 I_1 と磁気吸引力 F_1 との関係、および第 2 電磁石 (5) の励磁電流 I_2 と磁気吸引力 F_2 との関係が記憶されている。

目標値決定装置 (14) は、まず、変位検出装置 (6) で検出された回転体 (1) の変位に基づき、これに対応する 1 対の電磁石 (4) (5) 全体の磁気吸引力値を求める。この処理は、従来の磁気軸受の電磁石制御装置におけるものと同様である。そして、次に説明するように、上記の磁気吸引力値に基づき、各電磁石 (4) (5) に供給すべき励磁電流目標値を求め、これらに対応する電力増幅装置 (15) (16) の電流指令装置 (17) に出力する。

回転体 (1) の変位が 0 のとき、電磁石 (4) (5) による磁気吸引力値は 0 であり、これに対応する励磁電流 I_1 、 I_2 はともに 0 であるから、目標値決定装置 (14) で決定されて電力増幅装置 (15) (16) に出力される励磁電流目標値はともに 0 である。このため、増幅装置 (15) (16) から各電磁石 (4) (5) に供給される励磁電流は 0 で、全体の磁気吸引力が 0 となり、回転体 (1) に作用する X 軸方向の力が 0 で、回転体 (1) は目標位置に保持される。

回転体 (1) が負側に変位した場合、目標値決定装置 (14) で求められる磁気吸引力値は正の値となる。これを F_a とすると、目標値決定装置 (14) は、第 2 電磁石 (5) の励磁電流目標値を 0 とし、これを第 2 の励磁電流目標値として第 2 の電力増幅装置 (16) の電流指令装置 (17) に出力するとともに、記憶している磁気吸引力 F_1 と励磁電流

I 1 との関係から、 F_a に対応する第 1 電磁石 (4) の励磁電流値 I_a を求めて、これを第 1 の励磁電流目標値として第 1 の電力増幅装置 (15) に出力する。これにより、第 1 電磁石 (4) に磁気吸引力 F_a が発生し、回転体 (1) は X 軸正方向に吸引される。

- 5 回転体 (1) が正側に変位した場合、目標値決定装置 (14) で求められる磁気吸引力値は負の値となる。これを $(-F_b)$ とすると、目標値決定装置 (14) は、第 1 電磁石 (4) の励磁電流目標値を 0 として、これを第 1 の励磁電流目標値として第 1 の電力増幅装置 (15) の電流指令装置 (17) に出力するとともに、記憶している磁気吸引力 F_2 と励磁電流 I_2 との関係から、 $(-F_b)$ に対応する第 2 電磁石 (5) の励磁電流値 I_b を求めて、これを第 2 の励磁電流目標値として第 2 の電力増幅装置 (16) に出力する。これにより、第 2 電磁石 (5) に磁気吸引力 $(-F_b)$ が発生し、回転体 (1) は X 軸負方向に吸引される。

- 15 上記のように 1 対の電磁石 (4) (5) の励磁電流が制御されることにより、回転体 (1) が X 軸方向の目標位置に保持される。

- 図示は省略したが、他方のラジアル制御軸（これを「Y 軸」とする）方向のラジアル磁気軸受も、上記の X 軸方向のラジアル磁気軸受 (2) と同じ構成を有する。また、上下 2 組のラジアル磁気軸受ユニットは、同じ構成を有する。そして、上下 2 組のラジアル磁気軸受ユニットの X 軸方向の磁気軸受 (2) および Y 軸方向の磁気軸受により、回転体 (1) が X 軸方向および Y 軸方向に目標位置に非接触支持される。

- 図示は省略したが、アキシアル磁気軸受ユニットは、回転体 (1) をアキシアル制御軸（これを「Z 軸」とする）方向に非接触支持するための 1 組のアキシアル磁気軸受を備えている。アキシアル磁気軸受は、回転体 (1) を磁気吸引力によって Z 軸方向の所定の目標位置に非接触支持するために Z 軸方向の両側から回転体 (1) のフランジ

部（被支持部分）を挟むようにハウジング(10)の内周部に固定された上下1対の電磁石を備えている。下側の電磁石のバイアス電流は0で、上側の電磁石にのみ一定のバイアス電流を常時供給し、このバイアス電流による上側の電磁石の磁気吸引力と回転体(1)に作用するZ軸方向下向きの重力とを釣り合わせている。他は、上記のラジアル磁気軸受の場合と同様であり、1対の電磁石の制御電流を制御することにより、回転体(1)がZ軸方向の目標位置に保持される。

目標値決定装置(14)は1つのDSPによって構成され、2つの電流指令装置(17)は他の1つのDSPによって構成されている。DSPはデジタル信号プロセッサ(Digital Signal Processor)の略で、これは、デジタル信号を入力してデジタル信号を出力し、ソフトウェアプログラムが可能で、高速実時間処理が可能な専用ハードウェアを指す。

目標値決定装置(14)および2つの電流指令装置(17)は、1つのDSPによって構成されてもよい。また、DSPの代わりに、CPU、MPUなど、他のデジタル処理手段が使用されてもよい。

上記の実施形態には、磁気軸受を構成する1対の電磁石のうちの少なくとも一方のバイアス電流が0であるものを示したが、この発明は、1対の電磁石の両方に常に一定のバイアス電流を供給するようになった磁気軸受にも適用できる。

また、この発明による電力増幅装置は、磁気軸受だけでなく、たとえば電動機などの他の被駆動体の駆動にも使用できる。

産業上の利用可能性

この発明による磁気軸受装置は、たとえばフライホイール式電力貯蔵装置などにおいて高速で回転する回転体を非接触支持する用途に使用されるのに適している。この発明による電力増幅装置は、た

- たとえば上記のような磁気軸受の電磁石の駆動、各種駆動用の電動機の駆動などに使用されるのに適している。この発明による電力駆動装置を用いれば、入力電圧の微小な範囲においても入力電圧と出力電流との関係を線形化することができ、したがって、磁気軸受の電
- 5 磁石のバイアス電流を0または微小な値とした場合、あるいは各種駆動用の電動機を微小な電圧で駆動する場合などでも、安定した制御を行なうことができる。

請求の範囲

1. 被駆動体に供給すべき電流目標値に基づいて電流指令信号を出力する電流指令手段と、電流指令信号を増幅して被駆動体に電流を供給する電力増幅器と、被駆動体に流れる電流を検出する電流検出手段とを備えており、

電流指令手段が、電流検出手段による電流検出値をフィードバックして、電流検出値が電流目標値と等しくなるように電流指令信号を制御するものであることを特徴とする電力増幅装置。

2. 回転体を1つの制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受であって、

回転体を磁気吸引力によって前記制御軸方向の目標位置に非接触支持するために前記制御軸方向の両側から回転体を挟むように配置された1対の電磁石と、回転体の目標位置からの変位を検出する変位検出手段と、回転体の変位検出値に基づいて各電磁石に供給すべき励磁電流目標値を決定する励磁電流目標値決定手段と、励磁電流目標値を増幅して各電磁石に励磁電流を供給する2つの電力増幅装置とを備えており、

各電力増幅装置が、励磁電流目標値に基づいて励磁電流指令信号を出力する電流指令手段と、励磁電流指令信号を増幅して電磁石に励磁電流を供給する電力増幅器と、電磁石に流れる励磁電流を検出する電流検出手段とを備えており、

電流指令手段が、電流検出手段による励磁電流検出値をフィードバックして、励磁電流検出値が励磁電流目標値と等しくなるように励磁電流指令信号を制御するものであることを特徴とする磁気軸受。

3. 前記制御軸が水平であり、励磁電流目標値決定手段が、各電磁石について、回転体の変位検出値によって変化する制御電流のみ

を励磁電流として励磁電流目標値を決定するものであることを特徴とする請求項 2 の磁気軸受。

4. 前記制御軸が水平ではなく、励磁電流目標値決定手段が、下側の電磁石については、回転体の変位検出値によって変化する制御電流のみを励磁電流として励磁電流目標値を決定し、上側の電磁石については、所定のバイアス電流と回転体の変位検出値によって変化する制御電流とを合わせたものを励磁電流として励磁電流目標値を決定するものであることを特徴とする請求項 2 の磁気軸受。

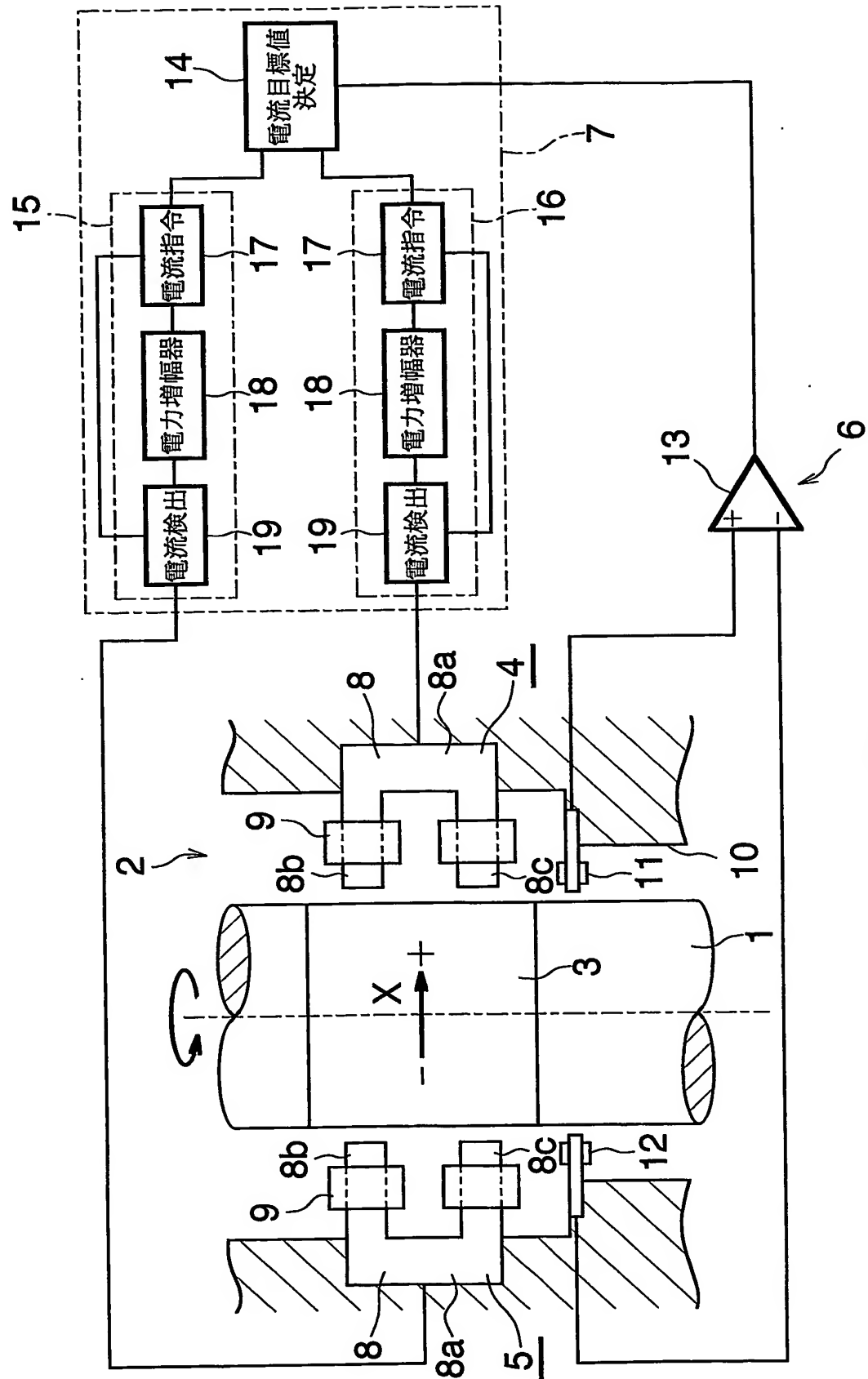
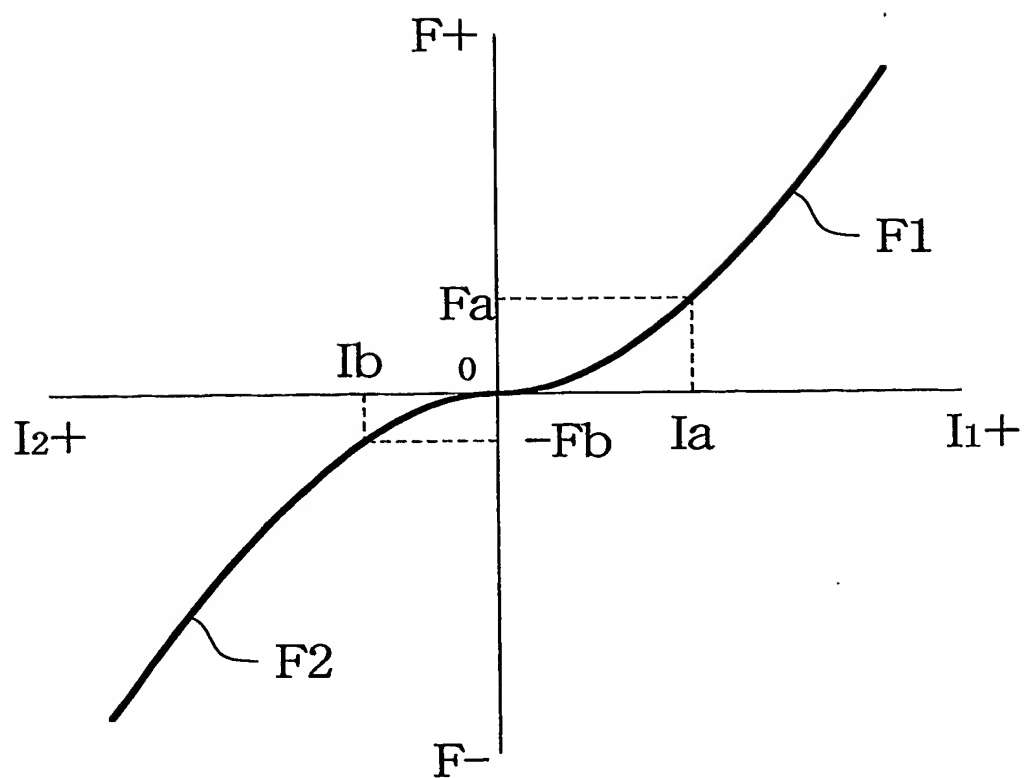


Fig.1

**Fig.2**

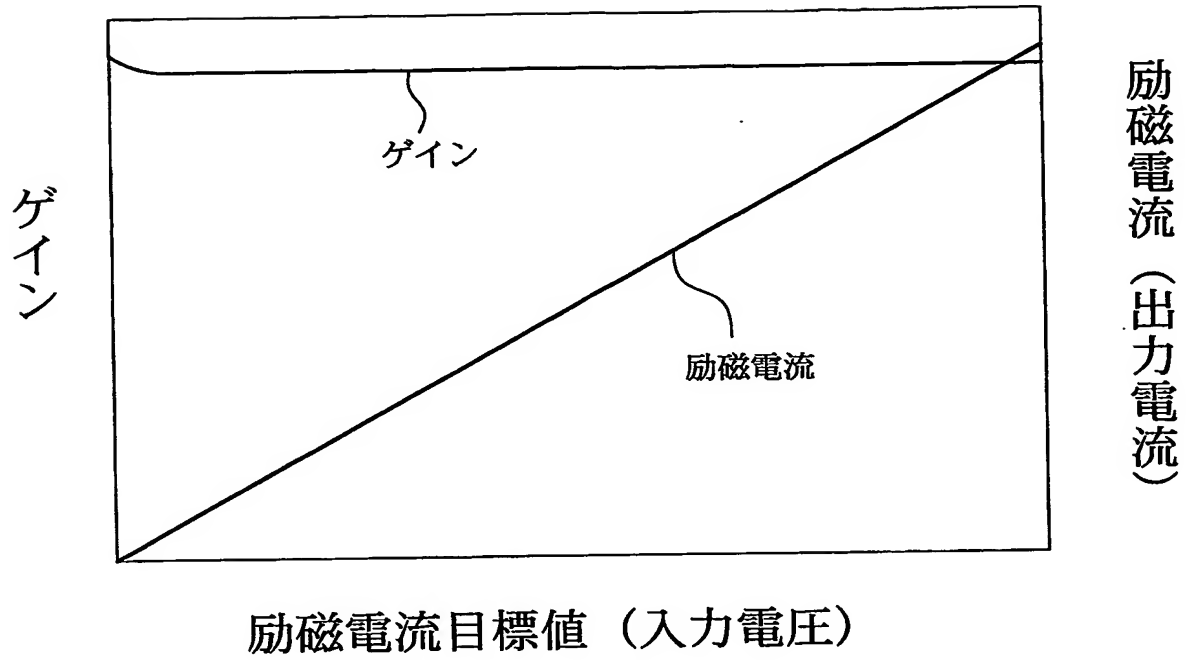
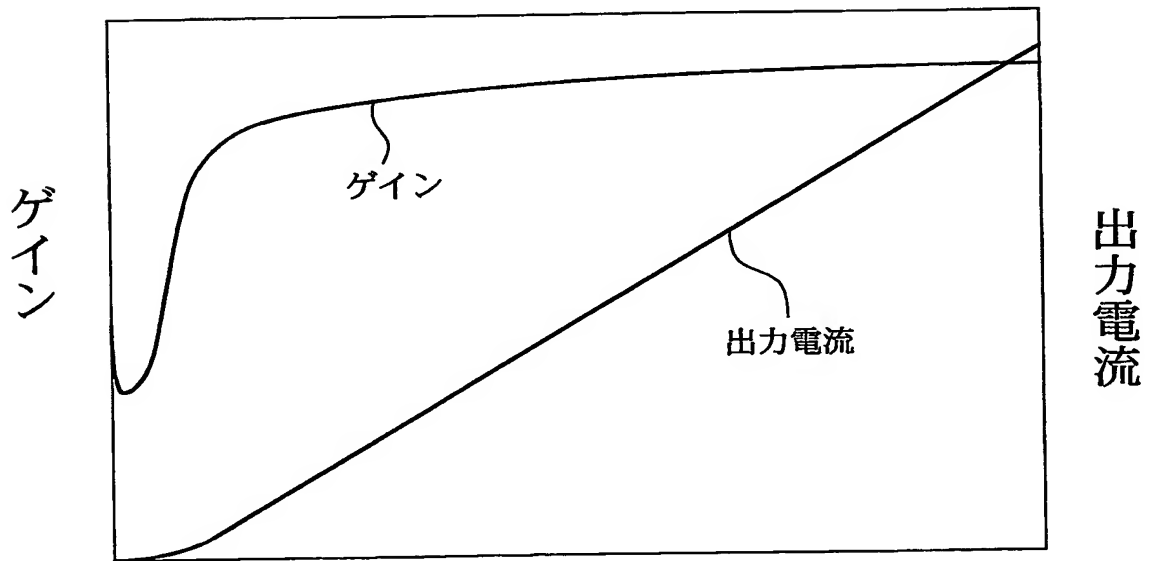


Fig.3



入力電圧

Fig.4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.